DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.06.031 CSTR:32311.14.rswc.2026.06.031
董志强, 付玉, 陈卓鑫, 等. 东北黑土区径流输沙研究进展:基于文献计量分析[J]. 水土保持研究,2026,33(6):243-253,265.
Dong Zhiqiang, Fu Yu, Chen Zhuoxin, et al. Research progress on runoff and sediment transport in black soil region of Northeast China: based on bibliometric analysis[J]. Research of Soil and Water Conservation,2026,33(6):243-253,265.

东北黑土区径流输沙研究进展
——基于文献计量分析

董志强[1,2], 付 玉[1], 陈卓鑫[2], 郭明明[2], 王天超[3],
侯思宇[2], 徐金忠[4], 王迪晨[5], 张兴义[2]
(1.东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040; 2.中国科学院 东北地理与农业生态研究所,
哈尔滨 150081; 3.内蒙古自治区水文水资源中心, 呼和浩特 010000;
4.黑龙江省水利科学研究院, 哈尔滨 150080; 5.松辽水利委员会 松辽流域水土保持监测中心站, 长春 130021)

摘 要:[目的]探究东北黑土区径流输沙研究的发展状况,分析该领域的研究现状、进展和前沿热点,并为东北黑土区水土流失研究提供参考。[方法]以CNKI和Web of Science数据库中筛选的387篇文献为对象,采用文献计量法,通过CiteSpace软件绘制了东北黑土区径流输沙研究可视化分析图谱,并从试验手段、时空尺度和模型模拟等方面对研究主题分类后进行综合分析。[结果](1)东北黑土区的径流输沙研究起步较晚(首篇发表于1994年),2008年后进入快速发展阶段,近年来年度新增英文发文量已超过中文。(2)研究力量集中在西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所和中国科学院东北地理与农业生态研究所,形成了相对稳定的核心作者群,其中郑粉莉和张兴义为代表性学者。(3)研究热点随时间演进呈现阶段性特征,由早期的径流输沙现象描述,逐步向机理揭示、技术评价与模拟相结合研究方向转变。(4)70%的文献采用野外监测方法,研究对象仅关注径流和仅关注输沙的文献分别占47%和18%,且以降雨驱动为主(占86%),对产沙、水沙关系协同及融雪驱动关注不足;时间尺度多聚焦于次降雨尺度、空间尺度多限于1 km^{2}内(含坡面尺度),多时空尺度研究薄弱(仅5篇);模型模拟应用比例较低(占18%),且以SWAT模型为主,仍处于拓展阶段。[结论]东北黑土区径流输沙研究体系初步形成,但多时空尺度耦合与复合驱动机制解析及模型本地化与人工智能交互方面薄弱,是领域发展需要关注和解决的热点。

关键词:东北黑土区; 径流; 泥沙; 土壤侵蚀; CiteSpace
中图分类号:S157.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-3409(2026)06-0243-11

Research progress on runoff and sediment transport in black soil region of Northeast China
—based on bibliometric analysis

Dong Zhiqiang[1,2], Fu Yu[1], Chen Zhuoxin[2], Guo Mingming[2], Wang Tianchao[3],
Hou Siyu[2], Xu Jinzhong[4], Wang Dichen[5], Zhang Xingyi[2]
(1.*College of Forestry*, *Northeast Forestry University*, *Harbin* 150040, *China*;
2.*Northeast Institute of Geography and Agroecology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Harbin* 150081,
China; 3.*Inner Mongolia Autonomous Region Hydrology and Water Resources Center*, *Hohhot* 010000, *China*;
4.*Heilongjiang Province Hydraulic Research Institute*, *Harbin* 150080, *China*; 5.*Soil and Water Conservation Monitoring Center of Songliao River Basin*, *Songliao Water Resources Commission*, *Changchun* 130021, *China*)

Abstract: [**Objective**] This study investigates the development status of runoff and sediment transport research in the black soil region of Northeast China, analyzes the current research situation, progress, and frontier hotspots

收稿日期:2026-01-08 **修回日期:**2026-02-02 **接受日期:**2026-03-01
资助项目:国家自然科学基金(42507454);黑龙江省自然科学基金(YQ2025D008);中国博士后科学基金面上资助项目(2025M781861)
第一作者:董志强(2002—),男,湖南郴州人,硕士研究生,研究方向为径流输沙尺度效应。E-mail:a2275420909@163.com
通信作者:陈卓鑫(1994—),男,湖南邵阳人,博士,助理研究员,主要从事土壤侵蚀及其环境效应研究。E-mail:chenzhuoxin@iga.ac.cn

in this field, and provides references for the study of soil erosion in this region. [**Methods**] Based on 387 publications screened from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WOS) databases, this study employs bibliometric methods to construct visual analysis maps of runoff and sediment transport research in the black soil region of Northeast China using CiteSpace. The research themes are subsequently classified and comprehensively analyzed from the perspectives of experimental methods, spatiotemporal scales, and model simulations. [**Results**] (1) Research on runoff and sediment transport in the black soil region of Northeast China starts relatively late, with the first paper published in 1994. Since 2008, the field has entered a phase of rapid development, with the number of publications steadily increasing, and the proportion of English-language papers has exceeded that of Chinese-language ones. (2) Research efforts are concentrated in key institutions, including Northwest A&F University, Institute of Soil and Water Conservation of the Chinese Academy of Sciences (CAS) and the Ministry of Water Resources, and Northeast Institute of Geography and Agroecology of CAS, forming a relatively stable core group of authors, with Zheng Fenli and Zhang Xingyi as representative scholars. (3) Research hotspots show phased characteristics over time, shifting from early descriptive analyses of runoff and sediment transport phenomena toward integrated studies incorporating mechanistic exploration, technical evaluation, and simulation approaches. (4) Approximately 70% of publications adopt field monitoring methods. Among these, studies focusing only on runoff and only on sediment transport account for 47% and 18%, respectively. The majority of studies are rainfall-driven (86%), while studies on sediment yield, runoff-sediment coupling, and snowmelt-driven processes remain underexplored. In terms of temporal scales, most studies focus on individual rainfall events. In terms of spatial scales, most are limited to areas within 1 km^2 (including the slope scale). Multi-spatiotemporal scale studies are weak, with only 5 papers identified. The application proportion of model simulations is relatively low (18%), with the SWAT model being the primary tool, and this area is still in the stage of expansion. [**Conclusion**] The research system for runoff and sediment transport in the black soil region of Northeast China is preliminarily established. However, there are weaknesses in the coupling of multiple spatiotemporal scales, the analysis of complex driving mechanisms, model localization, and the interaction with artificial intelligence, representing key hotspots that require attention and resolution in the development of this field.

Keywords: black soil region of Northeast China; runoff; sediment; soil erosion; CiteSpace

东北黑土区作为世界四大黑土带之一,也是我国重要的商品粮基地和生态安全屏障,其耕地面积约占全国的1/4,年均粮食产量约占全国的1/4[1],素有“北大仓”之称。然而,由于长期高强度垦殖、不合理的耕作方式及全球气候变化的影响,该地区正面临严峻的水土流失问题。全国水土流失动态监测结果显示,2024年东北黑土区水土流失面积达20.61万km^2,占土地总面积的18.95%,其中水蚀面积为13.12万km^2[2]。以水力侵蚀为主的坡耕地侵蚀导致珍贵的黑土层以年均下降0.3~2.0 mm的速率逐年变薄[3],土壤养分流失,土地生产力下降[4],并伴随河道淤积等异地环境效应。径流输沙是水土流失的核心过程,直接反映侵蚀强度与生态系统的健康状况。因此,系统梳理黑土区径流输沙的研究进展,可为该区水土流失防治提供相关参考。

自20世纪初以来,随着东北黑土区的大规模开垦与农业垦殖强度持续提升,区域下垫面结构和水文过程发生显著改变,水土流失的负面效应日益凸显。特别是自“东北黑土区水土流失综合防治试点工程”启动以来,以“国家水土保持重点建设工程”为代表的一系列国家级治理项目持续深入推进,促使学术界对东北黑土区水土流失的关注从现象描述转向机理与防治的系统研究[5]。近年来,众多学者在水沙特征[6]、水沙关系[7]、预测模型[8]、影响因素(如降雨、地形、耕作措施、植被恢复)[4]以及水土保持效益评估等[5]方面开展了多维度的研究,积累了丰富的文献资料。研究尺度涵盖坡面、小流域及区域尺度,研究方法从传统的模拟降雨试验、径流小区观测逐步发展到多尺度综合监测与模型模拟相结合。尽管已有研究对东北黑土区土壤侵蚀特征及其影响因素进行了较为系统的梳理[1,3],但缺乏针对径流-输沙为主题的系统计量分析,这不利于清晰识别该领域的研

究主线、阶段性特征及热点演变过程。基于此,本文以发表的东北黑土区径流输沙相关文献为研究对象,借助CiteSpace软件开展文献计量与可视化分析,从研究对象、驱动力、空间尺度、试验方法、时间尺度、时间跨度及模型模拟等多个维度对已有研究进行综合归纳,系统刻画该领域的研究发展历程。在此过程中,重点揭示核心作者与机构的合作网络特征、研究热点的演进路径,以及关键研究主题与前沿方向的阶段性转移,进而解析研究范式与知识结构的演化规律。在此基础上,总结东北黑土区径流输沙研究的主要进展与不足,并展望未来研究的发展趋势,以期为该领域研究脉络的整体把握及后续研究方向的科学布局提供参考。

1　数据来源和方法

1.1　数据来源

以中国知网(CNKI)和Web of Science(WOS)数据集为文献来源,采取主题词检索方式,为避免检索结果遗漏,替换与主题词意思相近的同义词。最终确定中文检索式为"'东北黑土区(黑土区、松花江、嫩江、辽河等)'和'径流(径流量、径流深度、径流强度等)'或'泥沙(输沙、产沙、含沙量等)'";英文检索式为"'black soil region (Mollisol region, Songhua river, Nen river, Liao river等)'and'runoff(flow, streamflow, discharge等)' or 'sediment(sediment transport rate, sediment yield, sediment concentration等)'"。中英文文献类型分别限定为SCI来源、EI来源、北大核心、CSSCI和CSCD及WOS核心合集中发表的学术期刊,截至收集时间为2025年11月,其中部分英文文献将会在2026年出版,最终检索出1 614篇相关文献。对于检索出来的结果,进行逐篇筛选,剔除不符合要求的文献。筛选标准设置为:(1)对于地域要求,所选文献的黑土研究地区必须为东北,排除华北和西北地区的小部分黑土覆盖区;(2)对于研究内容,所选文献的研究内容要与径流泥沙研究有关,例如径流输沙、输沙量、径流量等。最后,筛选出有效文献387篇,其中中文文献为213篇,英文文献为174篇,发表时间最早的文献为1994年3月,最晚的为2026年1月。

1.2　数据分析

文献计量分析方法为揭示学科发展过程、研究热点演变及知识结构提供了客观手段。其中,CiteSpace作为一种可视化知识图谱分析工具,由美国著名学者陈超美教授和其团队,以java语言作为基础开发的软件。该软件可以从作者、机构、国家等角度的合作网络进行分析,还能对关键词进行聚类和突现强度展示,并绘制出相应的可视化图谱,展示当前领域的研究情况、进度以及主要的研究热点。采用文献计量的方法,将所筛选的中英文文献以txt格式导出,在CiteSpace(6.4.R1)软件中进行可视化分析,时间跨度设置为1994—2026年,时间切片设置为1,节点类型依次设置为作者、机构和关键词,其余的为默认设置。

同时,为全面分析黑土区目前的研究进展,更好地了解当前研究热点和情况,将收集的387篇文献根据研究对象、驱动力、空间尺度、试验方法、时间尺度、时间跨度和模型模拟的分类方式进行区分,从多个角度进行分析,以更全面的视角探究东北黑土区径流输沙的研究进展状况。

2　结果与分析

2.1　论文发表趋势

运用CiteSpace软件对收集的数据进行整理,再将整理出来的结果制作成1994—2026年发文量趋势图(图1),从图1可以看出,该领域起步时间较晚,但近年来呈现出稳步上升的趋势,整体可分为3个阶段:(1)发展缓慢阶段,时间为1994—2008年;(2)快速发展阶段,时间为2008—2019年;(3)爆发增长阶段,时间为2019—2026年。

2.1.1　发展缓慢阶段(1994—2008年)　在此阶段,共发文15篇,占总数的4%,其中中文发文量仅14篇,占总中文发文量的7%,英文文献于2007年发表第1篇。2003年开始,东北黑土区先后启动实施了多项国家水土保持重点治理工程[3],例如:水土流失综合防治试点工程、国家农业综合开发东北黑土区水土流失重点治理工程。对应年份的文献发文量开始增多,表明国家开始关注东北黑土区水土流失情况,针对问题进行初步研究。

2.1.2　快速发展阶段(2008—2019年)　在此阶段,共发文154篇,占总数的40%,其中中文发文量为117篇,占总中文发文量的55%,英文发文量为37篇,占总英文发文量的21%。表明国家开始重视对于东北黑土区的保护,于2008年发表《国家粮食安全中长期规划纲要》《纲要》中明确提出"加强东北黑土区水土流失防治"。2010年,《关于加快转变东北地区农业发展方式建设现代农业指导意见》中明确提出要加强黑土地生态环境建设[9]。在这一时期,针对东北黑土区径流输沙的文献发文量明显增多,以中文文献为主,在2014年,中文文献的发文量达到最高(17篇)。

2.1.3　爆发增长阶段(2019—2026年)　在此阶段,

共发文218篇，占总数的56%，其中中文发文量为82篇，占总中文发文量的38%，英文发文量为136篇，占总英文发文量的78%。国家对于东北黑土区的保护更为重视，“十三五”有“黑土侵蚀防治机理与调控技术”项目获批立项，“十四五”有国家重点研发计划“黑土地保护与利用科技创新”重点专项以及中国科学院启动“黑土粮仓”科技会战[5]，项目支撑使得英文文献发文量呈现爆发式增长，并在2021年，发文量超过中文文献。随着发文量的增多，东北黑土区径流输沙的研究取得了显著进展。

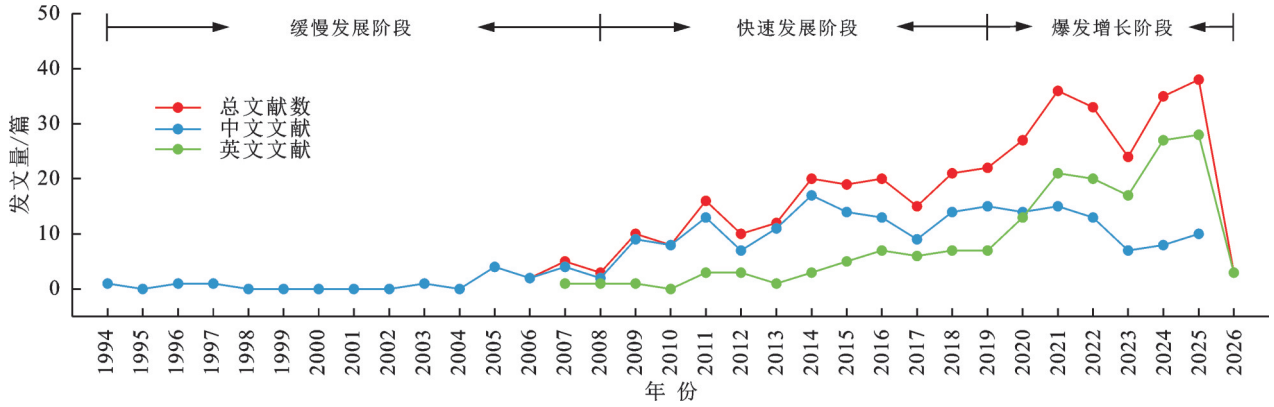


图1 东北黑土区径流泥沙主题的发文量趋势图

Fig. 1 Trends of publication number on runoff and sediment research in black soil region of Northeast China

2.2 机构合作分析

图2A表明了各个机构在该领域的中文文献发文量情况。中文文献发文量最多的是中国科学院水利部水土保持研究所(25篇)，其次为沈阳农业大学水利学院(18篇)、西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室(17篇)。发文量在10篇以上的机构只有8所，大部分机构发文量在6篇以下，说明目前研究东北黑土区径流输沙的机构数较少，研究力量较为薄弱，主要的研究机构集中在水土保持研究所，应当加强和促进与当地研究机构的合作与发展。针对英文文献发表(图2B)，发文量前5的是Chinese Academy of Sciences(中国科学院，80篇)、Northeast Institute of Geography & Agroecology, Chinese Academy of Sciences(中国科学院东北地理与农业生态研究所，32篇)，Institute of Soil & Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources(中国科学院水利部水土保持研究所，27篇)、Beijing Normal University(北京师范大学，26篇)和University of Chinese Academy of Sciences(中国科学院大学，24篇)，其余的机构基本都在6篇以下。机构和机构间的连线表示合作程度，可以看出各个机构间的连线较少，说明合作程度低，需要加强机构间的合作。

2.3 作者合作分析

将数据导入CiteSpace软件中并运行，绘制出作者合作可视化分析图谱(图3)，通过图谱，既能表征哪些作者具有较高影响力，还能分析该领域目前的作者合作关系。节点大小表示该作者在该领域的重要性与发文量，而作者与作者间连线的数量则表明合作程度。

2.3.1 *领域带头人引领作用显著* 通过图3可知，在东北黑土区径流输沙领域研究中，中文发文量前5的作者分别是郑粉莉(31篇)、沈海鸥(15篇)、范昊明(10篇)、方海燕(9篇)和张兴义(8篇)；英文发文量前5的作者分别是Zhang Xingyi(张兴义，11篇)、Zheng Fenli(郑粉莉，9篇)、Liu Gang(刘刚，9篇)、Fang Haiyan(方海燕，9篇)和Hu Wei(胡伟，7篇)。其中，郑粉莉发表最早的中文文献时间是2011年[10]；Zhang Xingyi(张兴义)发表最早的英文文献同为2011年[11]。郑粉莉无论是中文文献发文量还是英文文献发文量，都位于前列；英文文献发表起步较晚，而张兴义英文发文量最多，并且中文发文量也排在前5。同时，这两位学者在“十三五”和“十四五”期间均承担过相关的国家重点研发项目，这表明在该领域内，郑粉莉和张兴义具有重要的领域带头人作用。

2.3.2 *跨区域机构合作薄弱* 通过分析可知，郑粉莉和Liu Gang(刘刚)所属机构为西北农林科技大学及其附属机构，表明在东北黑土区水土流失领域研究中，西北农林科技大学是重要的中坚力量，张兴义和胡伟所属机构为中国科学院东北地理与农业生态研究所，方海燕所属机构为中国科学院地理科学与资源研究所，范昊明的所属机构是沈阳农业大学，具有明显的地域性，表明其他区域核心作者之间的交流较少，同时，作者间的连线较少，说明还未形成完善的合作关系，还具有很大的提升空间。

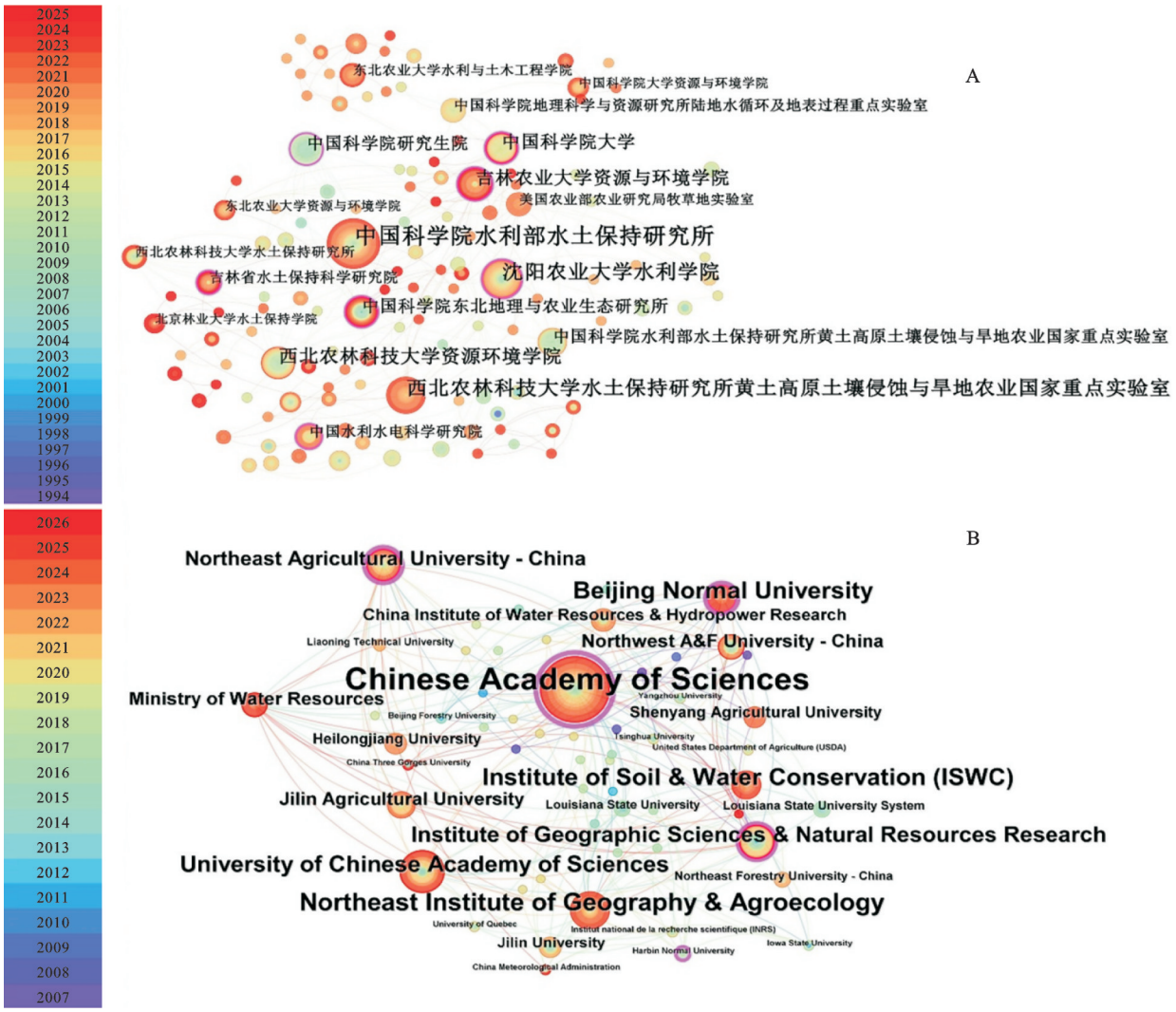


图 2　基于 CNKI 数据库(A)和 WOS 数据库(B)的机构合作关系可视化图谱

Fig. 2　Visualization map of institutional cooperation relationships based on CNKI database (A) and WOS database (B)

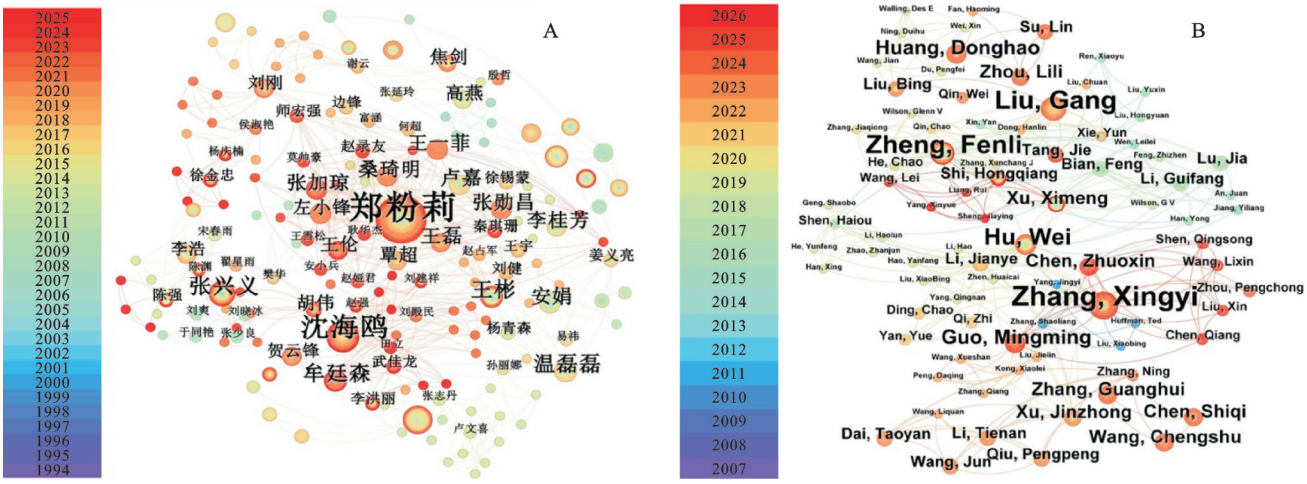


图 3　基于 CNKI 数据库(A)和 WOS 数据库(B)的作者合作关系可视化图谱

Fig. 3　Visualization map of author collaboration based on CNKI database (A) and WOS database (B)

2.4　研究前沿和发展趋势分析

2.4.1　关键词分析

(1) 关键词共现分析。关键词是一篇论文的核心词汇,是对该文章研究内容的提炼,也是作者对发表文章的主题概括,通过关键词,可以把握该论文的主旨和表达的内容。合理运用关键词,既是分析文章主题的手段和方式,也便于认识和加深对该领域的研究方向和现状。通过分析东北黑土区径流输沙

研究领域的高频关键词，有利于快速了解该领域的研究热点与进展，将整理好的数据导入CiteSpace软件并绘制关键词共现可视化分析图谱（图4）。排除所选的中英主题词及同义词，如“黑土区（black soil region）”“径流（runoff）”和“泥沙（sediment）”。出现频率较高的关键词有“坡耕地”“模拟降雨”“秸秆覆盖”“land use”“catchment”等。这表明在坡面尺度上（坡耕地），诸多学者基于室内模拟降雨和径流小区监测，在秸秆覆盖、不同耕作措施对坡面水土流失的调控作用等方面取得了重要进展[4]；在集水区尺度上（catchment），探讨了土地利用（land use）方式对径流输沙的影响、融雪在年尺度径流输沙中的占比等方面[12]。另外，“耕作措施”[10]、“顺坡耕作”[7]、“yield”“crop”等[13]关键词较低频次的出现，也表明当前东北黑土区径流输沙研究也在聚焦其对粮食产量的影响等方面。

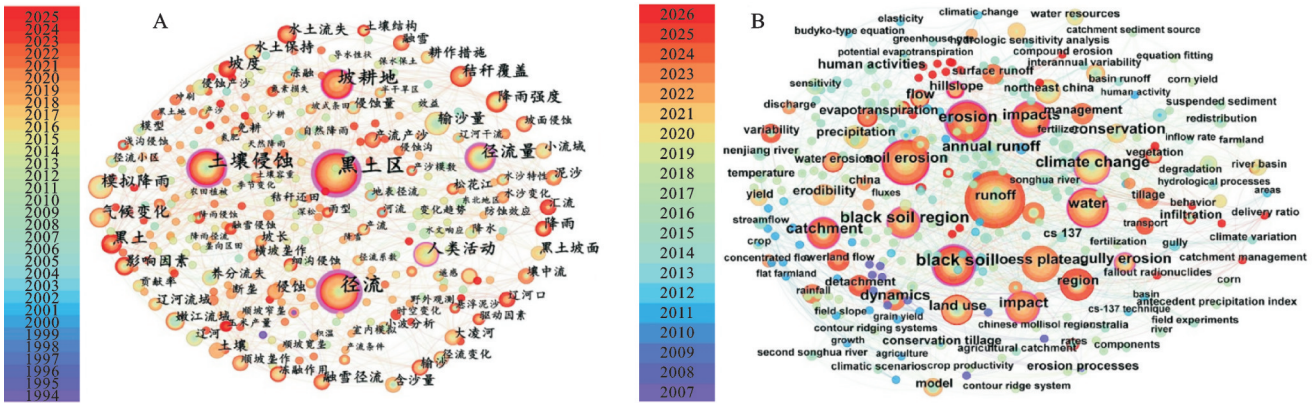


图4 基于CNKI数据库（A）和WOS数据库（B）的关键词共现可视化图谱

Fig. 4 Visualization map of keyword co-occurrence based on CNKI database (A) and WOS database (B)

（2）关键词时序分析。关键词时序图将关键词按照时间线进行详细划分，从而直观地展示在各个时间段，所研究的关键词变化，从而推断热点的变化。将数据导入软件中，并将可视化布局调整为Timeline View，进行聚类，生成关键词时序可视化分析图谱（图5）。

由图5可知，在发展缓慢阶段（1994—2008年）期间，国内最早的研究热点是#7融雪径流中的森林、积雪和融雪径流[14]，东北黑土区气候严寒，降雪较多，同时森林覆盖率较高，学者们将关注点放到这些区别于其他地区的特性之中，从而开始了黑土区径流泥沙的研究。在2005—2008年发文量达到10篇，研究内容逐渐深入，开始从各个角度进行研究，此时主要关键词包括：自然降雨、土壤侵蚀、径流、泥沙、养分流失、浅沟侵蚀等[15]，#0土壤侵蚀、#2径流和#6产流产沙开始出现，同时英文文献开始发表，并出现black soil region，gully erosion，northeastern china和#1 black soil region，代表该领域的研究开始深入。

到快速发展阶段（2008—2019年），国家开始注意东北黑土区水土流失保护，政策的颁布为促进东北黑土区径流输沙研究提供了助力，关键词逐渐增多。国内研究热点新出现了#4降雨中的降雨侵蚀，其他的研究热点也开始多样化[16-18]，如#2径流中的含沙量；#6产流产沙中的径流小区、减蚀效应；#7融雪径流中的时间变化、侵蚀产沙等。而在2011年，英文关键词逐渐增多，出现#0 climate change，#2 soil erosion和#5 conservation tillage等多个新聚类，研究的重心也逐渐细化，热点包括patterns，conservation，model和land use等。表明该领域研究取得初步成果，朝着保护性农业、耕作模式和土地利用方式等方向发展。

进入到爆发增长阶段（2019—2026年），科技部、水利部和中国科学院等机构先后启动重点专项，研究资金充足，更有利于东北黑土区研究的发展。中文文献发文量趋于稳定，英文文献发文量显著增加。最新的研究热点主要聚焦以下4个方面：① 水土流失极端情况[19]，关键词有极端降水、洪峰流量、水文干旱等；② 农业耕作方面[20]，关键词有氮流失、还田量、玉米秸秆、hillslopes等；③ 土地利用模式[21]，关键词有land use pattern，delivery ratio，fallout radionuclides等；④ 土壤侵蚀及水文模型研究[22]，关键词有resistance to erosion，hydrothermal environment，compound erosion等。

（3）关键词突现分析。通过分析各个时期的主要研究内容，关注研究热点，把握研究前沿，可以明确该领域的发展情况和未来的演变形势。将数据纳入CiteSpace软件，并通过软件自带的burst功能，对中英文文献突显强度排名前15的关键词进行归纳，并按照年份次序进行排序，绘制关键词突显可视化图谱（图6）。从突现强度的角度来分析[6,23]，比较高的中文关键词有径流量、输沙量、人类活动、黑土坡面等；比较高的英文关键词有northeast china，impact，conservation等；从时间跨度的角度来分析[12,24]，时间周期较长的中文关键词有“嫩江流域”（6 a）、“养分流失”（6 a）、“输沙量”（5 a）、“侵蚀产沙”

(5 a);时间周期较长的英文关键词有“annual runoff”(6 a)、“conservation”(6 a)、“northeast china”(4 a)、“land use change”(4 a)。这些关键词,除了基本研究内容(径流量、输沙量、侵蚀产沙),还表现出一些研究不足:① 在确定东北黑土区为大研究区的情况下,具体的研究区只有嫩江流域,而研究其他流域的文献相对较少;② impact突现强度较高,但主要以研究人类活动和land use change影响因素居多,而研究其他影响因素的文献数较低;③ 在提倡防治水土流失的背景下,conservation(保护)的突现强度和时间周期都较高,保护性措施的研究处于起步阶段,尽管取得了部分成果,但仍需要加强研究。

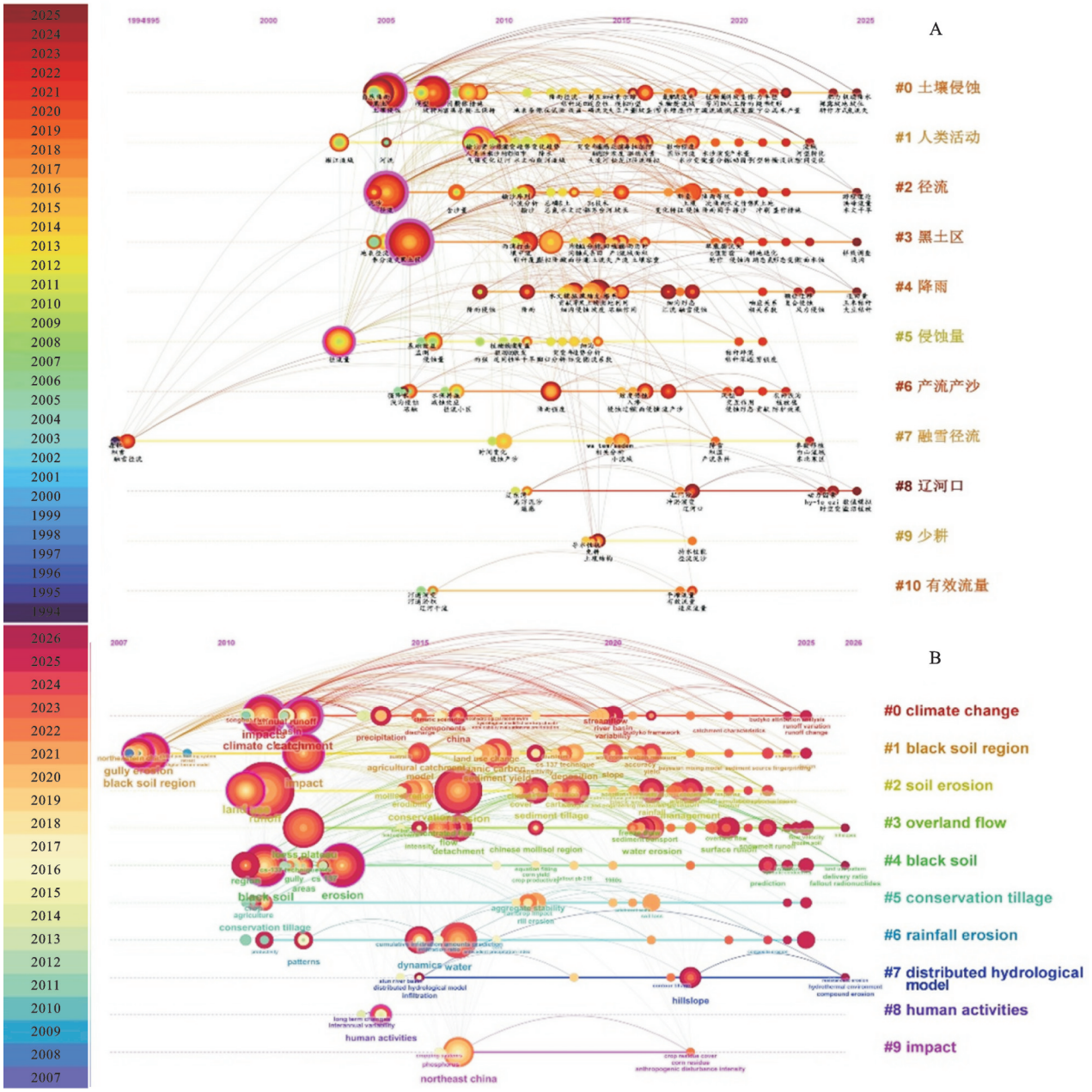


图 5　基于CNKI数据库(A)和WOS数据库(B)的关键词时序可视化图谱

Fig. 5　Visualization map of keyword time series based on CNKI database (A) and WOS database (B)

2.4.2　文献分类与进一步分析

(1) 研究对象与方法。图7A表明,研究对象仅为径流、径流及泥沙和仅为泥沙的文章分别为184篇(47%)、134篇(35%)和69篇(18%)。具体而言,一方面,东北黑土区径流输沙研究整体起步较晚,早期研究多集中于基础水文过程监测(图5和图6);另一方面,区域内水位测站数量明显多于同步开展径流泥沙监测的水文测站,且部分水文站建站时间较晚,导致可获取的长期泥沙观测数据相对有限,从而在一定程度上影响了产沙过程研究的开展。图7B表明,驱动力仅为降雨、降雨及融雪和仅为融雪的文章分别为331篇(86%)、35篇(9%)和21篇(5%),2015年才出现第一篇以融雪为单一驱动力的研究文献[25]。表明现有研究主要集中于降雨驱动力,对融

雪驱动条件下的径流输沙过程的关注相对不足，这在一定程度上限制了对黑土区水土流失驱动机制的全面认识。图 7C 表明，研究方法为野外监测、室内模拟及野外—室内结合法的文章分别为 271 篇（70%）、112 篇（29%）和 4 篇（1%）。在早期，针对径流输沙的研究主要以野外监测为主，野外监测具有监测困难及费时费力等缺点，在 2007 年首次出现室内模拟法[26]，并逐渐成为常用的研究方法。

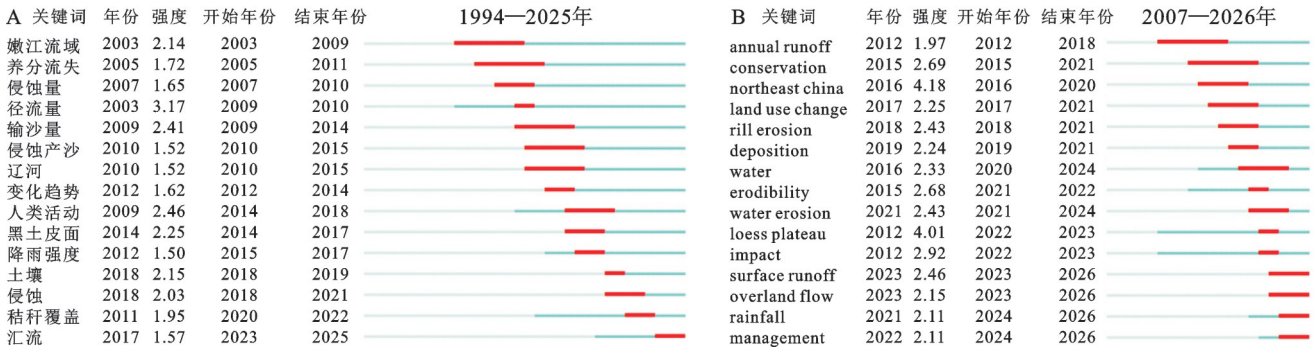


图 6 基于 CNKI 数据库（A）和 WOS 数据库（B）的关键词突现可视化图谱

Fig. 6 Visualization map of keyword bursts based on CNKI database (A) and WOS database (B)

（2）时空尺度。时间尺度和时间跨度只考虑采用实地监测方法进行研究的文献，采用人工模拟方法的文献不做统计。图 7D 表明，时间尺度为次降雨、日、月和年的文献分别为 53 篇（19%）、103 篇（38%）、47 篇（17%）和 72 篇（26%），仅有一篇文章研究不同时间尺度对径流输沙的影响[27]。说明在目前研究中，多以日尺度研究为主，从 2022 年起，针对次降雨的研究明显增加，仅次于日尺度。图 7E 表明，时间跨度在 0～2 a（包含模拟降雨研究），2～4 a，4～6 a 和 6 a 以上分别为 102 篇（37%）、13 篇（5%）、11 篇（4%）和 149 篇（54%），这说明水土流失研究的时间跨度主要集中在 0～2 a 和 6 a 以上，其中 0～2 a 的研究主要关注保护性农业耕作、沟蚀及降雨对径流输沙影响等方面[28]，而 6 a 以上的研究主要关注水沙变化、径流输沙的影响因素及土地利用变化等方面[29]。图 7F 表明，空间尺度在 0～1 km²（包含坡面尺度研究），1～10 km²，10～100 km²，大于 100 km² 和多空间尺度分别为 202 篇（52%），20 篇（5%），11 篇（3%），150 篇（39%）和 4 篇（1%）。这表明当前研究主要基于单一的空间尺度，而基于多空间尺度的研究较少，特别是针对径流输沙的空间尺度效应方面亟需加强。

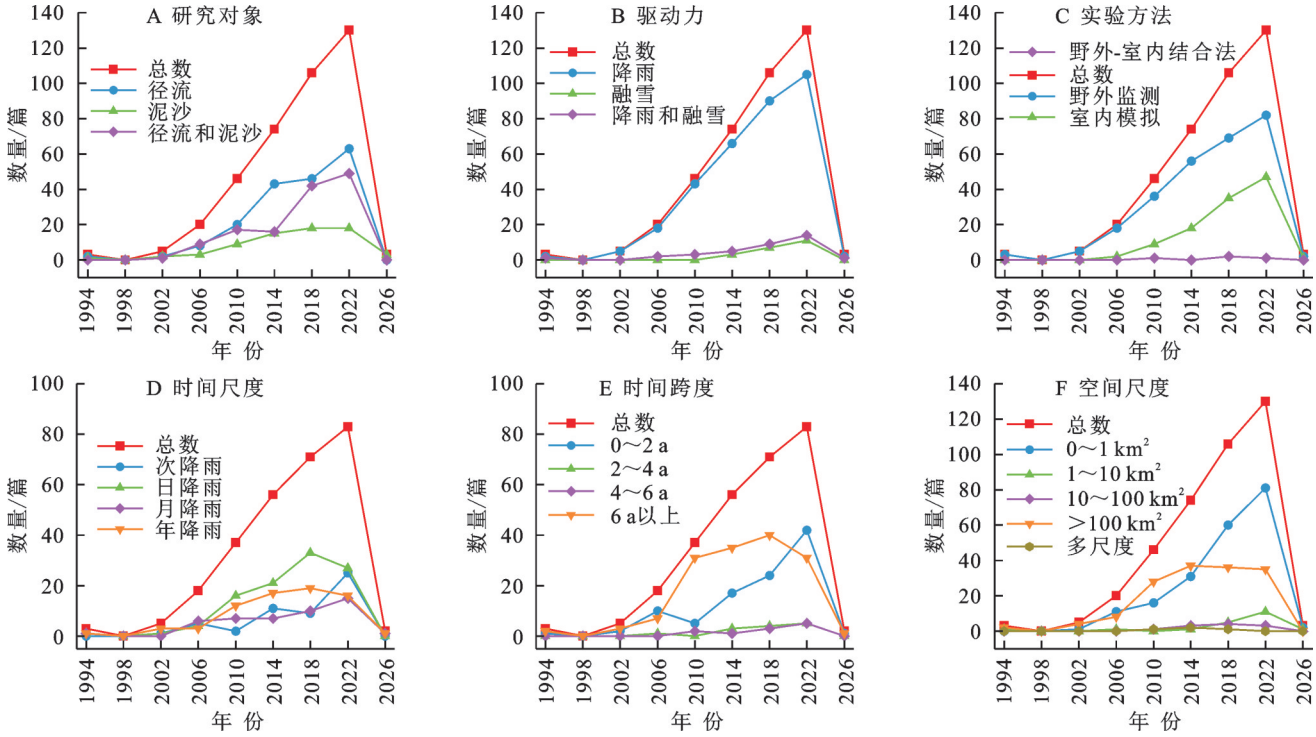


图 7 不同分类方法下文献量发表趋势

Fig. 7 Publication trends under different classification methods

(3) 模型模拟。根据是否使用模型对径流输沙进行模拟,对 387 篇文献逐篇筛选,最终筛选出 70 篇文献(占总文献量的 18.1%),并统计模型的使用情况(图 8)。由图 8 可知,使用 SWAT (Soil and Water Assessment Tool), WaTEM/SEDEM (Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model), TETIS (https://iiama. webs. upv. es/en/technology-transfer/software/tetis/) 和其他模型分别为 18 篇(26%)、6 篇(8%)、4 篇(6%)和 42 篇(60%)。这表明 SWAT 模型在该领域中应用最为广泛,已成为常用的模型工具,相比之下,除 WaTEM/SEDEM 和 TETIS 模型外,其余模型,如 WEPP (Water Erosion Prediction Project)的使用频次相对较低,多集中于 1~2 次,表明径流输沙模拟在模型类型与应用深度方面仍有进一步拓展的空间。

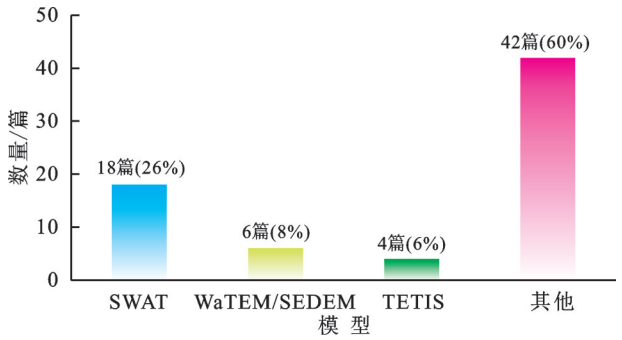


图 8　不同水文模型发文量及占比

Fig. 8　Publication number and proportions of different hydrological models

2.4.3　总结与分析　结合图 1—8 的分析可知,可以进一步将东北黑土区径流输沙研究领域从 1994—2025 年,将研究过程划分为初步探索和治理、系统规划和工程治理及全面保护和法制化 3 个阶段,根据这 3 个阶段绘制东北黑土区径流输沙研究历程图(图 9)。(1) 初步探索和治理阶段。时间为 1994—2008 年,该阶段处于起步阶段,发文量仅 15 篇,占总发文量的 4%,主要的关键词有嫩江流域、养分流失和侵蚀量等。在此阶段开展并实施了东北黑土区水土流失综合防治试点工程及《东北黑土区水土流失综合防治规划》等综合防治项目[3],表明国家开始注意到东北黑土区水土流失危害,着手治理。对标的国家政策为"开荒扩耕、局部治理"。(2) 系统规划和工程治理阶段。时间为 2008—2019 年,该阶段从起步转向系统治理,发文量快速增多,达到 154 篇,占比达 40%,主要关键词有输沙量、径流量、侵蚀产沙、conservation 和 land use change 等。此阶段启动和颁布了《东北黑土地保护利用试点项目》及《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030 年)》等具体项目[9],表明国家在上一阶段取得成效之后,愈加重视黑土区水土流失治理,从综合防治转变到系统的黑土地保护方面。对标的国家政策为"国家立项、规模治理"。(3) 全面保护和法制化阶段。时间为 2019—2025 年,此阶段把成果用法律形式进行保护,并探索新的保护措施,发文量达 218 篇,占总发文量的 56%,主要关键词有秸秆覆盖、汇流、erodibility、surface runoff 和 management 等。《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025 年)》及《中华人民共和国黑土地保护法》等法律法规及方案的出台[5],表明黑土地保护被纳入到法制体系,并将关注点聚焦于水土流失防治措施和管理方面。对标的国家政策为"立法保护、战略升级"。

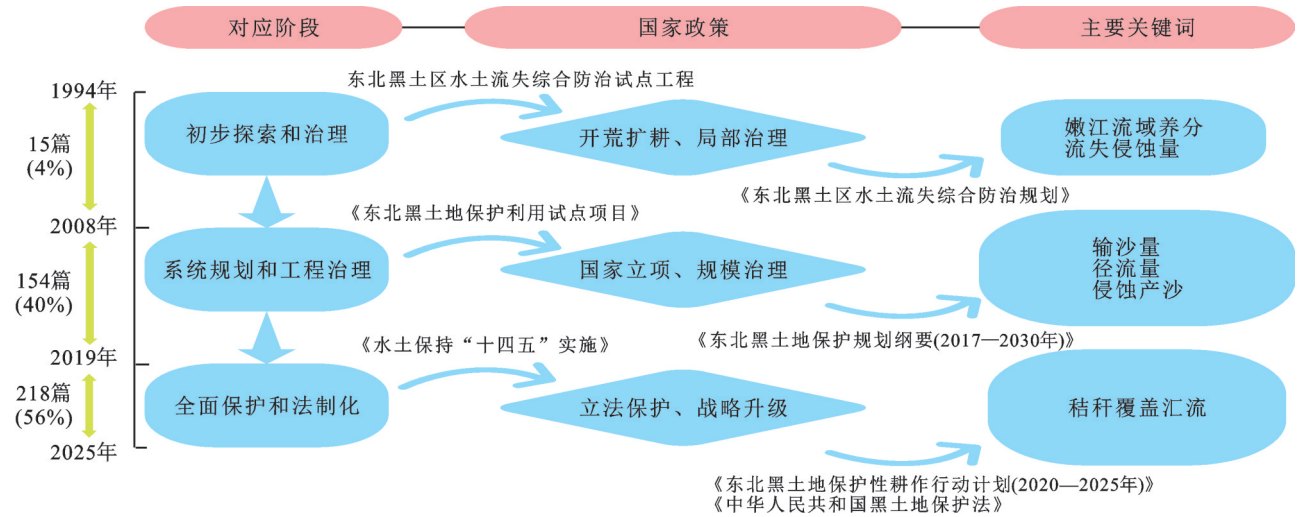


图 9　东北黑土区径流输沙研究历程

Fig. 9　Research process of runoff and sediment transport in black soil region of Northeast China

3　结论与展望

本文基于文献计量方法,系统梳理了 1994—2025 年东北黑土区径流输沙领域的研究动态。综合分析表明,该领域研究在政策驱动与问题导向下迅速发展,已从初期现象观测迈入机理探索与技术评

估的深化阶段，研究体系初步形成，但仍在研究视角、方法与协同创新方面面临挑战。主要结论及未来展望如下：

（1）研究历程受国家政策驱动，合作网络亟需拓展。本领域研究发展与国家战略紧密相关。文献计量分析显示，中文研究自20世纪90年代国家水土保持工程启动后逐步开展，并于2008年后进入快速增长期；近年来英文文献的显著增长，则标志着东北黑土区水土流失问题已引起国际学界广泛关注，成为全球性环境与粮食安全研究热点。目前，核心研究力量集中于国内少数优势科研机构，并形成了稳定的核心作者群。然而，机构合作网络呈现明显地域聚集性，跨学科、跨区域的实质性协作尚显不足，这在一定程度上制约了研究视角的广度与方法论的创新。

（2）核心主题从宏观观测到过程机理与调控评估演进。研究主题呈现出清晰的深化与拓展轨迹。早期工作侧重于径流、泥沙等基本要素的宏观观测。随着研究深入，主题迅速向过程机理与防治技术效益评估聚焦，保护性耕作、工程措施的减流减沙效应量化，以及侵蚀动力过程解析成为核心议题。近年来的研究前沿进一步拓展至极端水文事件响应、农业管理措施（如秸秆还田）的优化以及水文模型的应用探索。这一演变路径表明，研究范式正从单一的现象描述，向机理揭示—技术评价—系统模拟的综合方向不断深化。

（3）未来研究重点亟需聚焦多尺度耦合、模型本地化与协同治理。为应对黑土地保护的迫切需求，未来研究需在以下关键方向寻求突破：① 深化多过程与多尺度综合研究：加强融雪、降雨及其耦合驱动下的水沙过程机理研究，并突破当前以坡面为主的尺度局限，系统开展“坡面-小流域-区域”多尺度观测与对比试验，重点揭示侵蚀产沙的跨尺度输移机制。② 加强模型本地化与预测能力，融合人工智能技术：依托长期定位观测与多源监测数据，引入机器学习与智能优化方法，深化对土地利用变化和气候变化背景下水土流失演变规律的认识；重点揭示水文—侵蚀模型关键参数的区域差异特征，提升模型在东北黑土区的本地化适用性与预测精度。③ 创新技术体系与推动协同治理：积极探索适合黑土区的保护性农业新技术与智慧管理模式，推动水土流失治理由单一工程措施向土地保护与耕作措施协同优化方向发展。深化复合驱动机制认识，并提升模型本地化与人工智能技术耦合能力，以促进水土流失协同治理水平。

参考文献（References）：

[1] 郭明明，王迪晨，徐金忠，等.东北黑土区沟蚀研究进展与展望[J/OL].中国水土保持科学（中英文），2025.https://link.cnki.net/urlid/10.1449.S.20251014.1625.002.
Gou M M, Wang D C, Xu J Z, et al. Research progress and prospects of gully erosion in the black soil region of Northeast China[J/OL]. Science of Soil and Water Conservation, 2025. https://link. cnki. net/urlid/10.1449. S. 20251014.1625.002.

[2] 中华人民共和国水利部.中国水土保持公报（2024年）[R/OL].（2025-03-21）[2025-12-27]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202510/t20251001_2067996.html.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China soil and water conservation bulletin（2024）[R/OL].（2025-03-21）[2025-12-27]. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zgstbcgb/202510/t20251001_2067996.html.

[3] 张光辉，杨扬，刘瑛娜，等.东北黑土区土壤侵蚀研究进展与展望[J].水土保持学报，2022，36（2）：1-12.
Zhang G H, Yang Y, Liu Y N, et al. Advances and prospects of soil erosion research in the black soil region of Northeast China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022,36（2）:1-12.

[4] 张兴义，李健宇，郭孟洁，等.连续14年黑土坡耕地秸秆覆盖免耕水土保持效应[J].水土保持学报，2022，36（3）：44-50.
Zhang X Y, Li J Y, Guo M J, et al. Effects of straw mulching and no tillage for continuous 14 years on soil and water conservation in mollisols sloping farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022,36(3):44-50.

[5] 张兴义，胡伟，李建业，等.水土流失防控是黑土地保护的重点[J].科学通报，2024，69（11）：1401-1405.
Zhang X Y, Hu W, Li J Y, et al. Control of soil and water losses is the critical issue for black earth conservation[J]. Science Bulletin, 2024,69（11）:1401-1405.

[6] 王佳琦，贾燕锋.近60年大凌河中上游水沙变化特征[J].水土保持研究，2018，25（3）：35-40.
Wang J Q, Jia Y F. Variation of runoff and sediment in the middle and upper reaches of Daling River during the past 60 years[J]. Research of Soil and Water Conservaion, 2018,25(3):35-40.

[7] 何超，王磊，郑粉莉，等.垄作方式对薄层黑土区坡面土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报，2018，32（5）：24-28.
He C, Wang L, Zheng F L, et al. Effects of ridge tillage on hillslope soil erosion in thin layer black soil region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32（5）: 24-28.

[8] 郭敏，方海燕，李致颖.基于SWAT东北黑土区乌裕尔河流域径流模型模拟[J].水土保持研究，2016，23（4）：43-47，54.
Guo M, Fang H Y, Li Z Y. SWAT model-based runoff simulation of Wuyuer River basin in the black soil region of Northeast China[J]. Research of Soil and Water Con-

servation, 2016,23(4):43-47,54.

[9] 杜国明,陈帅颖,徐新良.东北黑土地生态环境问题研究进展[J].东北农业大学学报,2025,56(5):163-173.
Du G M, Chen S Y, Xu X L. Research progress on ecological environment problems of black land in Northeast China[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2025,56(5):163-173.

[10] 安娟,卢嘉,郑粉莉,等.不同地表条件下黑土区坡耕地侵蚀过程中土壤团聚体迁移[J].水土保持学报,2011,25(6):100-104.
An J, Lu J, Zheng F L, et al. Soil aggregate transport during soil erosion process under different soil surface conditions on black soil slope farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011,25(6):100-104.

[11] Zhang S L, Zhang X Y, Huffman T, et al. Soil loss, crop growth, and economic margins under different management systems on a sloping field in the black soil area of Northeast China[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2011,35(3):293-311.

[12] Fang H Y, Fan Z M. Impacts of climate and land use changes on water and sediment yields for the black soil region, Northeastern China[J]. Environment, Development and Sustainability, 2021,23(4):6259-6278.

[13] Liu S K, Dong A H, Niu B, et al. Maize/cover crop intercropping mitigates soil erosion and enhances yield of ridge cultivation in Chinese mollisol region [J]. Catena, 2025,255:109012.

[14] 任青山,魏晓华,葛剑平,等.黑龙江省东部森林中雪的水文效益的初步研究[J].东北林业大学学报,1994,22(2):11-16.
Ren Q S, Wei X H, Ge J P, et al. A preliminary study on hydrological effects of snow in the forest of east Heilongjiang[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1994,22(2):11-16.

[15] 张永光,伍永秋,刘宝元.东北漫岗黑土区春季冻融期浅沟侵蚀[J].山地学报,2006,24(3):306-311.
Zhang Y G, Wu Y Q, Liu B Y. Ephemeral gully erosion during the spring freeze-thawing period in black soil rolling-hill regions of Northeast[J]. Journal of Mountain Science, 2006,24(3):306-311.

[16] 李洪丽,韩兴,张志丹,等.东北黑土区野外模拟降雨条件下产流产沙研究[J].水土保持学报,2013,27(4):49-52,57.
Li H L, Han X, Zhang Z D, et al. Research on runoff and erosion sediment under simulated rainfall conditions of black soil in Northeast China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013,27(4):49-52,57.

[17] 韩富伟,张柏,宋开山,等.黑龙江省低山丘陵区水保措施减蚀效应研究[J].东北农业大学学报,2008,39(2):179-183.
Han F W, Zhang B, Song K S, et al. Effect of soil erosion reduction corresponding to water and soil conservation measures of low mountain and mound area in Heilongjiang Province[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008,39(2):179-183.

[18] 焦剑,赵登峰.松花江流域侵蚀产沙演变特征分析[J].水土保持通报,2010,30(2):87-91,96.
Jiao J, Zhao D F. Evolution of sediment yield in the Songhua River basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010,30(2):87-91,96.

[19] 赵云龙,符素华.东北黑土区流域洪峰流量计算方法探讨[J].中国水土保持科学(中英文),2025,23(2):227-238.
Zhao Y L, Fu S H. Discussion on the calculation method of peak flow rate in watersheds of the black soil region of Northeast China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2025,23(2):227-238.

[20] Shi H Q, Zheng F L, Sheng J Y, et al. Long slope erosion-deposition patterns under different tillage systems driven by multiple erosion forces in the Chinese mollisol region[J]. Soil and Tillage Research, 2026,255:106821.

[21] Zhai Y Y, Fang H Y, Wu Z L. Enhancing understanding of soil redistribution and sediment budgets in three contrasting agricultural catchments, Northeast China: using the ^{137}Cs technique[J]. Soil and Tillage Research, 2026,255:106773.

[22] Leng X, Li H, Fu Q, et al. Regulation of soil physical environment and erosion characteristics of farmland by amendments in the black soil region of Northeast China [J]. Soil and Tillage Research, 2026,255:106810.

[23] Li Y Z, Li C J, Li Z W, et al. Effects of slope and upslope inflow rate on black soil ephemeral gully erosion processes in the Northeastern China [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2025,61:102692.

[24] Li J Y, Wang R X, Huang Q W, et al. Climate warming-induced hydrological regime shifts in Cold Northeast Asia: insights from the Heilongjiang-Amur River Basin [J]. Land, 2025,14(5):980.

[25] 朱景亮,齐非非,穆兴民,等.松花江流域融雪径流及其影响因素[J].水土保持通报,2015,35(2):125-130.
Zhu J L, Qi F F, Mu X M, et al. Snowmelt runoff characteristics and its influencing factors of Songhua River Basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015,35(2):125-130.

[26] 王贵作,张忠学.基于一维圣维南运动方程的黑土区坡耕地径流模型研究[J].水土保持研究,2007,14(2):231-232,235.
Wang G Z, Zhang Z X. Study on slope farmland runoff model in blackland based on 1-D saint-venant equation [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007,14(2):231-232,235.

(下转第 265 页)